

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平2-30098

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)1月31日

H 05 H 1/00  
H 01 L 21/66  
// G 01 R 29/00  
H 01 L 21/203  
21/205  
21/31

A 7458-2G  
Z 7376-5F  
Z 7905-2G  
S 7630-5F  
7739-5F  
C 6824-5F

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全4頁)

⑮ 発明の名称 高周波プラズマ電子温度測定方法

⑯ 特 願 昭63-178027

⑰ 出 願 昭63(1988)7月19日

⑱ 発 明 者 進 藤 春 雄 広島県広島市南区東雲2丁目17-5 メゾン浜本401号  
⑲ 出 願 人 進 藤 春 雄 広島県広島市南区東雲2丁目17-5 メゾン浜本401号  
⑳ 代 理 人 弁理士 大 塚 学 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

高周波プラズマ電子温度測定方法

2. 特許請求の範囲

高周波電力で生成されたプラズマ雰囲気中に浮動状態でフィラメントローブを差込み装着して、このプローブの熱時定数より充分短い周期を持つ交流の半波電圧を加えて熱電子放出する程度に加熱し、この放出電子数が充分で放出電子の有するプラズマ振動数がプラズマ発生用高周波電源の周波数よりも充分高い状態にすれば、プラズマ中に存在する高周波電位振動のプローブへの影響を除去できるという性質を利用し、上記加熱交流半波の有電圧期と、無電圧期における浮動電位差を検出し、この浮動電位差がプラズマ電子温度に関係することを利用して測定することを特徴とする高周波プラズマ電子温度測定方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、高周波電力で生成されるプラズマの電子温度測定法に関するものである。

(従来技術とその問題点)

プラズマCVD法やプラズマスパッタリング法による半導体装置の酸化膜の形成など、一般にプラズマを利用した反応生成物の成膜装置においては、安定で再現性の良いプラズマの発生が不可欠であり、そのためにはプラズマ電子の温度測定及び制御が極めて重要である。特にこれらのプラズマはほとんどの場合、高周波電力で生成されるが、これらいわゆる高周波プラズマ中でのプラズマ電子温度の測定及び制御がとりわけ重要である。

そこで、従来からプラズマの発生雰囲気中にプローブあるいは加熱プローブを挿入し、これによって捕集された電子電流がプローブのバイアス電圧及びプラズマ電子温度と一定の関係を有することを利用して温度を測定する方法が広く採用されている。

しかしながら、これらの方法には、プラズマ中に常に存在する高周波電位振動のプロープへの影響を除去するために複雑な防衛回路を設置する必要があるなどの欠点がある。

すなわち、プロープによりプラズマから電子電流を捕集することにより電子温度を決定する従来法においては、プロープの電圧-電流特性が、本来非線形であるために、電源電圧の高周波振動にともないプラズマ電位が振動すると整流電流が同時にプロープに捕集される。このため、プロープにより捕集される電流は、電子温度を正しく反映している電子電流とは大きく相違したものとなり、これによる電子温度の測定は原理的に不可能となる。

そのため、従来方法ではこの整流電流を除去するために、プロープ回路に新たに高周波電流除去回路を付け、プラズマ中の振動電圧と同じ大きさで逆位相の高周波電圧をプロープに印加することにより、整流電流の流れることを防止している。しかしながら、この方法では、プロープに印加す

べき逆位相の電圧値がプロープとプラズマ間に存在するシースの容量に依存するため、正確に求めることは難しく、広いプラズマ領域においてプラズマ電位と正確に同値で逆位相の電圧をプロープ回路に印加することは不可能に近い。

さらに、ここで対象とするプラズマはほとんどの場合、反応性であり、プラズマ中では反応物が生成されるため、プロープ表面には常にこれらの反応生成物が堆積してくる。そこで、これら反応生成物の堆積を防止するため、プロープは通常加熱されるが、この加熱されたプロープによる測定方法についても従来法においては複雑な制御回路を必要としており、上記の高周波電流除去回路と合わせると、極めて複雑な付属回路を必要とすることから、満足すべきものとは言い難い。

(発明の目的)

本発明は、上記の如き従来方法の欠点を一掃しうる高周波プラズマ電子の温度測定方法の提供を目的としてなされたものである。

(問題点を解決するための本発明の手段)

本発明の特徴とするところは次の点にある。すなわち、第1図のように高周波プラズマ発生容器(1)中にプロープ(フィラメント)(2)を浮動状態で差し込む。そしてこれに有電圧期と無電圧期とを有する交流半波電圧 $V_m$ (周期はフィラメント熱時定数より充分短いもの)を加えて加熱し、プロープから熱電子放出させ、この放出電子数が充分でプロープの浮動電位がプラズマ中に存在する高周波電位振動に追従できる条件下で、被測定量はこの放出電子電流の影響を受けないように上記加熱交流半波電圧の有電圧期と無電圧期におけるプロープ(2)の浮動電位の差 $\Delta V$ 、とすることにより、前記従来法の各種の欠点の一掃を図ったものである。次に本発明の測定原理について説明する。

第1図に示すように、プラズマ容器(1)内に角周波数 $\omega_p$ の高周波電力で生成されたプラズマがあり、その中にエミッシブプロープを挿入し、電圧 $V_m$ の交流半波で加熱する。この時、放出電子飽和電流 $I_{es}$ が

$$\omega_{pe} = \left( \frac{n_e e}{\epsilon_0 m} \right)^{1/2} = \left( \frac{I_{es} e}{A_p \epsilon_0 m} \right)^{1/2} (kT_e / 2\pi m)^{-1/2} \ll \omega_p \dots (1)$$

の条件を満足していれば、プロープの浮動電位はプラズマ中の高周波電位振動に追従できる。(1)式で $\omega_{pe}$ は放出電子が持つプラズマ振動数(電子密度 $n_e$ )、 $\epsilon_0$ 、真空中の誘電率、 $e$ 及び $m$ 電子電荷及び質量、 $A_p$ プロープ表面積、 $T_e$ プロープ温度 $k$ ボルツマン常数である。

(1)式の関係は放出電子のプラズマ振動数が、プラズマ中の電位振動数よりも充分大きいことを意味するが、この条件下ではプラズマ中の振動電位に放出電子はすみやかに追従しプロープとプラズマ間には高周波の電位振動が存在しなくなる。この様子を第2図に示した。第2図(a)(b)はそれぞれ高周波電源電圧が正位相及び逆位相の時の放出電子電流 $I_e$ 及び捕集電子電流 $I_c$ の特性を示したものである。プラズマ電位がそれぞれの位相に応じて $V_{pe}$ から $V_{pe}$ に変化しても(1)式の条件下では放出電子がすみやかにプラズマ電位の振動に追従

し、放出電子電流及び捕集電子電流特性は横幅に沿って平行移動した形となる。従ってプローブが浮動状態にある場合には、プラズマ電位が $V_{F1}$ から $V_{F2}$ 間で振動するとその浮動電位は $V_{F1}$ と $V_{F2}$ 間で振動する。それ故に、プローブとプラズマ間には高周波の振動電位差は存在なくなり、プラズマから捕集される電子は振動電位を見ずに常に同一の電位差 $V_{F1}-V_{F2}$  ( $=V_{F2}-V_{F1}$ ) を見ることから捕集電子電流は高周波振動電圧の影響を受けなくなるので、この捕集電流は正しく電子温度を反映していることになる。

このような条件下で加熱電圧 $V_H$ の有電圧期と無電圧期におけるプローブの浮動電位差 $\Delta V_F$ の値は第3図に示すように $I_{cs} < I_{cs}$  ( $I_{cs}$ は捕集電子飽和電流)の領域では捕集電子電流-電圧特性の勾配に依存する。この勾配は、電子温度が $T_e$ であれば $1/kT_e$ の値であるので結局、第3図のように $V_H$ に対する浮動電位差 $\Delta V_F$ を測定することにより電子温度は次式より求めることができる。

$$\Delta V_F = - \frac{kT_e}{e} \ln \left( \frac{kT_e}{eV_H} (1 - \exp(-\frac{eV_H}{kT_e})) \right) \dots\dots\dots (2)$$

なお、(2)式を用いて電子温度を測定する方法については、特許願(出願番号62-218373)を既に出願済である。また、浮動電位を測定する場合には、加熱電圧 $V_H$ による変化以外にプラズマ電位の振動に呼応した電位振動が浮動電位に含まれるので、この振動成分をフィルター等で除去しなければならない。通常、高周波電源の角周波数 $\omega$ と $V_H$ の周波数は、極端に相違するので、このフィルターリングは容易である。

第4図は本発明による測定回路例図であって、プローブ(2)を高周波プラズマ発生容器(1)と電気的に絶縁、即ち浮動的に容器(1)内に差し込み装着し、これに単巻式電圧調整器(3)と絶縁トランス(4)およびダイオード(5)を介して電圧の調整された商用周波の半波電圧(周波数は任意の周波数を取りうる)を印加して加熱する。

一方、プローブ(2)の浮動電位がどの程度の高周

波振動に追従できるかは外部回路にも依存し、これはプローブ(2)の回路全体がアースに対して持つ浮遊容量によって決まる。従ってプローブの浮動電位ができる限り高い周波数でも振動し得るようにするためには、この浮遊容量による影響を極力除去する必要がある。その一つの方策として第4図の回路例では、ダミープローブ(6)を設置し、プローブ(2)の浮動電位の測定は差動電圧増幅器(8)を通して、ダミープローブ(6)との差電位をシンクロスコープ(9)で測定する方法を用いている。このように、ダミープローブとの差電圧を取ることで、プローブ(2)がアースに対して持つ浮遊容量の影響を除去することができる。なお、フィルター(9)はプローブ(2)に現れる高周波振動を除去し、又プラズマ自体が発するノイズを除去するためのものである。このようにして、シンクロスコープ(9)にプローブ(2)の加熱電圧による浮動電圧の変化の波形が得られ、この浮動電位差から(2)式を用いて電子温度を求める。

なお、ダミープローブ(6)をプローブ(2)と同一の

プラズマ位置に挿入し、いわゆるダブルプローブの形式で上記の方法と同様な測定を行うことも可能であり、この場合にはプローブ(2)と(6)の加熱で電圧の値が異なっているかあるいは加熱電圧の位相が異なるようにする必要がある。

(発明の効果)

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、従来方法のように調整困難な高周波電流除去回路を必要としたり測定回路の複雑化を招いたりすることなく簡単な回路によって正確な高周波数プラズマ電子温度の測定が可能になるのは勿論、測定回路が簡単化されるため測定の自由化が容易となる。従って、高周波数プラズマを利用した成膜装置のプラズマ電子温度、プラズマ電位などの諸パラメータの常時監視用モニタ装置等への応用はもとより、一般的なプラズマ診断に用いてその効果は大きい。

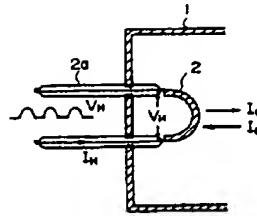
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図、第2図および第3図は本発明の原理説

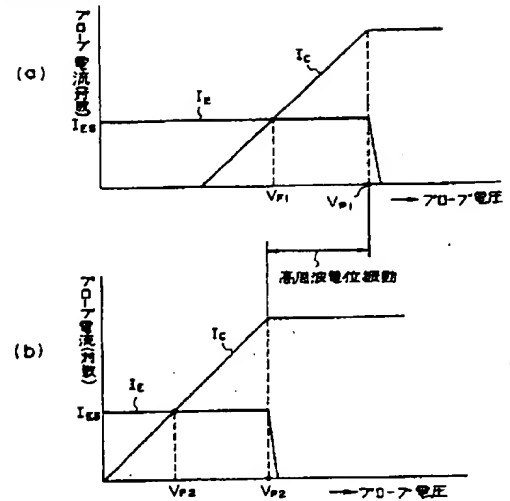
明のための回路図、および電圧-電流特性図、第4図は本発明による測定回路例図である。

- (1)…高周波プラズマ発生容器、(2)…プローブ、  
(2a)…プローブ支持端子、(3)…単巻式電圧調整器、(4)…絶縁トランス、(5)…ダイオード、  
(6)…ダミープローブ、(7)…ダイオード、  
(8)…差動電圧増幅器、(9)…高周波除去フィルタ、  
(10)…ブラウン管オシロスコープ。

第1図

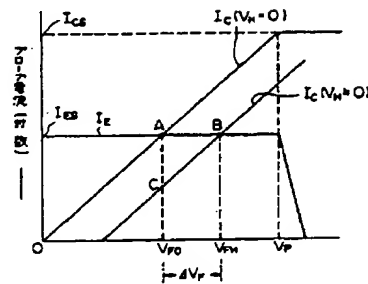


第2図



特許出願人 進 磨 春 雄  
代理人 弁理士 大 塚 学  
外 1 名

第3図



第4図

